

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**





IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re application of : **Confirmation No. 2003**  
Herve MICHAUD et al. : Docket No. 2003-1732A  
Serial No. 10/724,637 : Group Art Unit 1742  
Filed December 2, 2003 :

A METHOD OF FABRICATING A STEEL  
FORGING, AND A FORGING OBTAINED  
THEREBY

**CLAIM OF PRIORITY UNDER 35 USC 119**

Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

Applicants in the above-entitled application hereby claim the date of priority under the International Convention of French Patent Application No. 02 15225, filed December 3, 2002, as acknowledged in the Declaration of this application.

A certified copy of said French Patent Application is submitted herewith.

Respectfully submitted,

Herve MICHAUD et al.

THE COMMISSIONER IS AUTHORIZED  
TO CHARGE ANY DEFICIENCY IN THE  
FEES FOR THIS PAPER TO DEPOSIT  
ACCOUNT NO. 23-0975

By

Michael R. Davis  
Registration No. 25,134  
Attorney for Applicants

MRD/kes  
Washington, D.C. 20006-1021  
Telephone (202) 721-8200  
Facsimile (202) 721-8250  
April 21, 2004



SECRET - COLLECTOR - BEE

WOLAN BOWEN

PROTECTOR

SECRET



# BREVET D'INVENTION

## CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

### COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 26 NOV. 2003

Pour le Directeur général de l'Institut  
national de la propriété industrielle  
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE

SIEGE  
26 bis, rue de Saint Petersburg  
75800 PARIS cedex 08  
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04  
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23  
www.inpi.fr



**REQUÊTE EN DÉLIVRANCE**  
**page 1/2**

**BR1**

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

09 540 W / 010801

REMISE DES PIÈCES DATE <b>3 DEC 2002</b> LIEU <b>75 INPI PARIS</b> N° D'ENREGISTREMENT <b>0215225</b> NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE PAR L'INPI <b>03 DEC. 2002</b>		<input checked="" type="checkbox"/> <b>NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE</b>  CABINET LAVOIX 2, Place d'Estienne d'Orves 75441 PARIS CEDEX 09	
Vos références pour ce dossier <b>BFF 01/0451</b> (facultatif)			
<b>Confirmation d'un dépôt par télécopie</b>		<input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie	
<input checked="" type="checkbox"/> <b>NATURE DE LA DEMANDE</b>		<b>Cochez l'une des 4 cases suivantes</b>	
Demande de brevet <input checked="" type="checkbox"/>			
Demande de certificat d'utilité <input type="checkbox"/>			
Demande divisionnaire <input type="checkbox"/>		N° _____ Date _____	
Demande de brevet initiale <input type="checkbox"/>		N° _____ Date _____	
ou demande de certificat d'utilité initiale <input type="checkbox"/>		N° _____ Date _____	
Transformation d'une demande de brevet européen <input type="checkbox"/>		N° _____ Date _____	
<input checked="" type="checkbox"/> <b>TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)</b> Procédé de fabrication d'une pièce forgée en acier et pièce ainsi obtenue.			
<input checked="" type="checkbox"/> <b>DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE</b>		Pays ou organisation _____ N° _____ Date _____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date _____ Pays ou organisation _____ N° _____ <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
<input checked="" type="checkbox"/> <b>DEMANDEUR (Cochez l'une des 2 cases)</b>		<input checked="" type="checkbox"/> <b>Personne morale</b> <input type="checkbox"/> <b>Personne physique</b>	
Nom ou dénomination sociale Prénoms Forme juridique N° SIREN Code APE-NAF		ASCOMETAL  Société Anonyme 331048132  Immeuble Le Colisée, 10 Avenue de l'Arche, Faubourg de l'Arche,	
Domicile ou siège Rue Code postal et ville Pays Nationalité N° de téléphone (facultatif) Adresse électronique (facultatif)		92400 COURBEVOIE  FRANCE Française  N° de télécopie (facultatif)	
<input type="checkbox"/> S'il y a plus d'un demandeur, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»			

# BREVET D'INVENTION

## CERTIFICAT D'UTILITÉ

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE  
page 2/2

BR2



REMISE DES PIÈCES DATE LIEU N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI		Réserve à l'INPI 3 DEC 2002 75 INPI PARIS 0215225	DB 540 W / 010801
<b>Vos références pour ce dossier :</b> <i>(facultatif)</i>		BFF 01/0451	
<b>6 MANDATAIRE</b> <i>(s'il y a lieu)</i> Nom Prénom Cabinet ou Société N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel Adresse Rue Code postal et ville Pays N° de téléphone <i>(facultatif)</i> N° de télécopie <i>(facultatif)</i> Adresse électronique <i>(facultatif)</i>		CABINET LAVOIX 2 Place d'Estienne d'Orves 75441 PARIS CEDEX 09 FRANCE 01 53 20 14 20 01 48 74 54 56 brevets@cabinet-lavoix.com	
<b>7 INVENTEUR(S)</b> Les demandeurs et les inventeurs sont les mêmes personnes		Les inventeurs sont nécessairement des personnes physiques <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non : Dans ce cas remplir le formulaire de Désignation d'inventeur(s)	
<b>8 RAPPORT DE RECHERCHE</b> Établissement immédiat ou établissement différé		Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation) <input checked="" type="checkbox"/> Établissement immédiat <input type="checkbox"/> Établissement différé	
Paiement échelonné de la redevance <i>(en deux versements)</i>		Uniquement pour les personnes physiques effectuant elles-mêmes leur propre dépôt <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
<b>9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES</b>		Uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention <i>(joindre un avis de non-imposition)</i> <input type="checkbox"/> Obtenue antérieurement à ce dépôt pour cette invention <i>(joindre une copie de la décision d'admission à l'assistance gratuite ou indiquer sa référence)</i> : AG	
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes			
<b>10 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE</b> (Nom et qualité du signataire)		C. JACOBSON n° 92.1119 	
		VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI M. ROCHER	



L'invention concerne la métallurgie, et plus précisément le domaine des aciers destinés à la fabrication des pièces forgées devant résister à d'importantes sollicitations.

Souvent, de telles pièces sont réalisées en fonte, particulièrement en  
5 fonte GS à structure perlitique, ou en acier forgé à structure ferrito-perlitique qui sont censés offrir une meilleure résistance en fatigue que les fontes. Les vilebrequins de moteurs à explosion sont un exemple de telles pièces.

Les zones à fortes concentration de contraintes peuvent être renforcées par divers traitements thermochimiques, thermiques ou mécaniques,  
10 tels que la nitruration, la trempe par induction, le galetage, le grenailage.

On rappelle que le galetage appliqué à un vilebrequin (cette application n'étant pas exclusive) consiste à mettre en contact deux galets et les gorges du maneton. Les galets sont orientés obliquement par rapport aux gorges et on leur applique une force normale. Le vilebrequin est mis en rotation et la  
15 force normale est appliquée progressivement par les galets pendant un nombre  $n_1$  de tours, puis maintenue à une valeur constante pendant  $n_2$  tours, puis relâchée progressivement pendant  $n_3$  tours. Ce galetage crée des contraintes résiduelles de compression sur une profondeur de 4 à 5 mm. Il permet d'améliorer sensiblement les performances de tenue en fatigue des vilebrequins  
20 en fonte GS à structure ferrito-perlitique. Toutefois, du fait des meilleures performances en fatigue du métal de base, l'endurance après galetage des vilebrequins en acier forgé à structure ferrito-perlitique demeure supérieure à celle des vilebrequins en fonte GS. C'est pourquoi l'acier à structure ferrito-perlitique est employé de manière privilégiée dans les moteurs à essence les  
25 plus fortement sollicités et dans les moteurs diesel à injection directe. Il faut également veiller à ce que des ruptures ne se produisent pas hors des zones renforcées, ce qui justifie le choix d'un métal à hautes caractéristiques.

Des aciers forgés à structure ferrito-perlitique souvent plus employés à cet effet sont des types XC70, 45Mn5, 30MnSiV6 et 38MnSiV5, et subissent  
30 après forgeage un simple refroidissement en ligne à l'air calme. Leur méthode de mise en œuvre est donc relativement économique, mais leur durée de vie en présence de fortes sollicitations est limitée.

On a déjà proposé de réaliser de telles pièces en acier bainitique à partir d'une nuance de type 35MnV7, le refroidissement après forgeage ayant lieu  
35 à l'air pulsé. Les performances de tenue sont sensiblement améliorées par rapport aux exemples précédents, mais le procédé de fabrication est plus coûteux. De plus, il n'est pas toujours possible d'adapter à ce procédé une ligne

de fabrication initialement conçue pour fabriquer ces pièces par refroidissement à l'air calme.

Le but de l'invention est de proposer une association entre une nuance d'acier et un procédé de fabrication d'une pièce forgée, telle qu'un vilebrequin de moteur à explosion, présentant des avantages économiques par rapport aux associations existantes sans que les performances métallurgiques soient altérées, voire en améliorant ces performances. La pièce ainsi fabriquée devra résister à d'importantes sollicitations en fatigue. Ce procédé de fabrication devrait, en particulier, être adaptable sur toute ligne de forgeage.

A cet effet, l'invention a pour objet un procédé de fabrication d'une pièce forgée en acier, caractérisé en ce que :

- on élabore et on coule un acier de composition, en pourcentages pondéraux,  $0,06\% \leq C \leq 0,35\%$  ;  $0,5\% \leq Mn \leq 2\%$  ;  $traces \leq Si \leq 2\%$  ;  $traces \leq Ni \leq 1,5\%$  ;  $traces \leq Al \leq 0,1\%$  ;  $traces \leq Cr \leq 1,5\%$  ;  $traces \leq Mo \leq 0,30\%$  ;  $traces \leq V \leq 0,5\%$  ;  $traces \leq Cu \leq 1,5\%$  ; le reste étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration ;

- on forge une ébauche de la pièce à une température de 1100 à 1300°C ;

- on effectue un refroidissement contrôlé de l'ébauche de la pièce à l'air calme ou à l'air pulsé ;

- on effectue l'usinage de la pièce ;

- et on effectue une opération de renforcement mécanique de la pièce à des endroits appelés à être particulièrement sollicités.

De préférence, l'acier contient de 5 à 50 ppm de B.

De préférence, l'acier contient de 0,005 à 0,04% de Ti.

Si du B est présent, la teneur en Ti est de préférence égale à au moins 3,5 fois la teneur en N de l'acier.

De préférence, l'acier contient de 0,005 à 0,06% de Nb.

De préférence, l'acier contient de 0,005 à 0,2% de S.

Dans ce cas, de préférence, l'acier contient au moins un des éléments Ca jusqu'à 0,007%, Te jusqu'à 0,03%, Se jusqu'à 0,05%, Bi jusqu'à 0,15% et Pb jusqu'à 0,15%.

Selon une première forme de l'invention, la teneur en C de l'acier est comprise entre 0,06 et 0,20%.

La teneur en Mn de l'acier est alors de préférence comprise entre 0,5 et 1,5%, et la teneur en Cr est de préférence comprise entre 0,5 et 1,5%.

Dans ce cas, la teneur en Cu de l'acier peut être comprise entre 0,5 et 1,5%.

5            Selon une autre forme de l'invention, la teneur en C de l'acier est comprise entre 0,25 et 0,35%, la teneur en Si est comprise entre des traces et 0,5%, la teneur en Mn est comprise entre 0,8 et 2%, la teneur en Cr est comprise entre 0,5 et 1,5%, la teneur en Mo est comprise entre 0,05 et 0,20%, la teneur en B est comprise entre 5 et 50ppm, la teneur en Ti est comprise entre 0,005 et  
10    0,04%.

          Selon une autre forme de l'invention, la teneur en C de l'acier est comprise entre 0,20 et 0,35%, la teneur en Si est comprise entre 0,5 et 2%, la teneur en Mn est comprise entre 0,8 et 2%, la teneur en Cr est comprise entre 0,5 et 1,5%, la teneur en Mo est comprise entre 0,05 et 0,20%, la teneur en B est  
15    comprise entre des traces et 50 ppm et la teneur en Ti est comprise entre des traces et 0,04%.

          Dans ce cas, on peut pratiquer un revenu à 300-500°C pendant 1 à 3h après l'usinage ou après le refroidissement contrôlé à l'air et avant l'usinage.

          L'opération de renforcement mécanique peut être un galetage.

20            L'invention a également pour objet une pièce forgée en acier, caractérisée en ce qu'elle a été obtenue par l'un des procédés précédents.

          Cette pièce peut être constituée par un vilebrequin pour moteur à explosion.

          L'opération de renforcement mécanique est alors de préférence  
25    réalisée sur les congés de raccordement des manetons et les paliers du vilebrequin.

          Comme on l'aura compris, l'invention consiste en la combinaison d'une nuance d'acier et d'un procédé de traitement suivant la coulée comprenant une étape de forgeage de la pièce, un refroidissement pouvant être effectué à l'air  
30    calme ou à l'air pulsé et un renforcement mécanique des zones de la pièce qui seront les plus sollicitées. La composition de l'acier choisie garantit que, quel que soit le mode de refroidissement, les résultats de tenue en fatigue des pièces forgées à partir de cet acier renforcées mécaniquement aux endroits les plus sollicités, seront suffisants pour répondre aux exigences des utilisateurs. La  
35    fabrication de vilebrequins de moteurs à explosion à hautes performances est une application privilégiée de l'invention.

Habituellement, le critère de détermination du caractère adapté ou non d'un acier aux utilisations qui viennent d'être décrites est la limite d'endurance en fatigue du matériau initialement à l'état non fissuré, en prenant en compte les contraintes résiduelles introduites en surface par le renforcement mécanique.

5 Les inventeurs se sont rendu compte que ce critère n'était, en fait, pas pertinent. En effet, les contraintes résiduelles provoquées par le galetage (ou un autre type de renforcement mécanique) se relaxent en surface dès les premiers cycles sur une profondeur de quelques 1/10 de mm, et le matériau se fissure rapidement sur cette épaisseur. Toutefois, la propagation des fissures se bloque  
10 du fait du champ de contraintes résiduelles initial introduit par le galetage. La décroissance de la concentration de contraintes dans la gorge de raccordement joue également ce rôle. Mais il ne se produit pas de relaxation en profondeur.

Plus le galetage est effectué à une pression élevée, plus la concentration de contraintes est élevée et plus la fissuration est facile. En  
15 contrepartie, comme la forte pression de galetage a formé des contraintes résiduelles sur une profondeur plus importante, ces fissures sont bloquées sur de plus grandes distances et pour des moments plus grands, ce qui limite les risques de rupture de la pièce. De manière générale, on considère cependant qu'optimalement la fissuration ne doit pas se produire, de manière à ne pas  
20 donner lieu à des résonances et aux bruits associés lors de l'utilisation du vilebrequin, pour ne parler que de cette application privilégiée de l'invention.

Les caractéristiques chimiques de l'acier et ses traitements thermomécaniques postérieurs à la coulée visent à l'obtention d'une microstructure bainitique, et également à l'obtention de caractéristiques  
25 mécaniques optimisées après un traitement de renforcement mécanique tel qu'un galetage. Cette microstructure bainitique doit pouvoir être obtenue à la suite d'un refroidissement à l'air calme, mais doit aussi être compatible avec un refroidissement à l'air pulsé. De cette façon, les pièces concernées par l'invention pourront être produites sur toute installation existante, que celle-ci permette  
30 après forgeage un refroidissement à air pulsé, ou qu'elle ne permette qu'un refroidissement à l'air calme. Ainsi, une installation de forgeage initialement conçue pour traiter des pièces en acier à microstructure ferrito-perlitique pourra sans difficulté, et sans adaptation particulière, traiter des pièces à microstructure bainitique selon l'invention. Les aciers à microstructure bainitique précédemment  
35 employés pour ces usages exigeaient un refroidissement à air pulsé, et ne pouvaient donc pas toujours être traités sur des installations de conception courante.

Selon l'invention, on commence donc par élaborer un acier dont la composition sera détaillée et justifiée plus loin, puis on le coule, en lingots ou en continu suivant le format de la pièce finale, de manière à obtenir un demi-produit.

On effectue ensuite une opération de forgeage du demi-produit. Ce  
5 forgeage est suivi par un refroidissement contrôlé à l'air dans la chaude de forge, à l'air calme ou à l'air pulsé.

On effectue ensuite, de manière classique, un usinage de la pièce, puis une opération de renforcement mécanique en certains points appelés à être particulièrement sollicités lors de l'utilisation de la pièce. Dans le cas d'un  
10 vilebrequin, on effectue par exemple un galetage des congés de raccordement des manetons.

Les fourchettes analytiques exigées sont les suivantes pour les différentes éléments chimiques devant ou pouvant être présents (tous les pourcentages sont pondéraux).

15 La teneur en carbone est comprise entre 0,06 et 0,35%. Cette teneur permet de gouverner le type de microstructure obtenu. A moins de 0,06%, la microstructure obtenue ne serait pas intéressante pour les objectifs visés. Au-delà de 0,35%, en combinaison avec les autres éléments, on n'obtiendrait pas une microstructure suffisamment bainitique après refroidissement à l'air calme.

20 La teneur en manganèse est comprise entre 0,5 et 2%. Cet élément ajouté à plus de 0,5% procure sa trempabilité au matériau, et permet d'obtenir un domaine bainitique large quel que soit le mode de refroidissement. Une teneur supérieure à 2% serait cependant susceptible de provoquer des ségrégations trop importantes.

25 La teneur en silicium est comprise entre des traces et 2%. Cet élément, non obligatoire à proprement parler, est avantageux en ce qu'il durcit la bainite par son passage en solution solide. Une teneur supérieure à 2% peut cependant poser des problèmes d'usinabilité du matériau. De plus, le silicium gêne la formation des carbures, et on risquerait alors de former trop d'austénite  
30 résiduelle, voire de la martensite, en quantités trop importantes lors du refroidissement.

La teneur en nickel est comprise entre des traces et 1,5%. Cet élément non obligatoire favorise la trempabilité et la stabilisation de l'austénite. Au cas où du cuivre serait présent en quantité relativement importante, le nickel  
35 permet d'éviter les problèmes associés à cette présence de cuivre lors du forgeage. Au-delà de 1,5%, l'addition de nickel est inutilement coûteuse au vu des objectifs métallurgiques visés.

La teneur en aluminium est comprise entre des traces et 0,1%. Cet élément non obligatoire est un désoxydant fort, et même ajouté à faible teneur, il permet de limiter la quantité d'oxygène dissous dans l'acier liquide, donc d'améliorer la propreté inclusionnaire de la pièce si on a su éviter des  
5 réoxydations trop importantes de la coulée.

La teneur en chrome, élément non obligatoire, est comprise entre des traces et 1,5%. Comme le manganèse, le chrome contribue à l'amélioration de la trempabilité. Son addition devient inutilement coûteuse au-delà de 1,5%.

La teneur en molybdène est comprise entre des traces et 0,3%. Cet  
10 élément, non obligatoire, empêche la formation de ferrite à gros grains et permet d'obtenir plus assurément la structure bainitique. Son addition est inutilement coûteuse au-delà de 0,3%.

La teneur en vanadium est comprise entre des traces et 0,5%. Cet élément, non obligatoire, sert à durcir la bainite par son passage en solution  
15 solide. Son addition est inutilement coûteuse au-delà de 0,5%.

La teneur en cuivre est comprise entre des traces et 1,5%. Cet élément non obligatoire, peut améliorer l'usinabilité et, en précipitant, provoquer un durcissement secondaire du matériau. Comme on l'a dit, il est conseillé de lui  
20 associer une teneur en nickel significative pour minimiser les problèmes de mise en forme à chaud. Au-delà de 1,5%, son addition est inutilement coûteuse.

Les éléments que l'on vient de citer sont ceux dont le rôle métallurgique est ou peut être le plus important pour l'invention; mais d'autres éléments que l'on va citer peuvent être optionnellement présents pour améliorer certaines propriétés de l'acier.

25 La teneur en bore peut être comprise entre 5 et 50 ppm. Il peut améliorer la trempabilité, mais doit être en solution solide pour être efficace. Autrement dit, on doit éviter que tout le bore ou presque ne se retrouve sous la forme de nitrures ou carbonitrures de bore. A cet effet, il est conseillé d'associer à l'addition de bore une addition de titane, de préférence dans une proportion  
30 telle que  $3,5 \times N\% \leq Ti\%$ . A cette dernière condition, on peut capter tout l'azote dissous et éviter la formation de nitrures ou carbonitrures de bore. La teneur minimale en titane, à cet effet, est de 0,005%, pour les teneurs en azote les plus basses usuellement rencontrées. Il est cependant conseillé de ne pas dépasser une teneur en titane de 0,04%, sinon on obtient des nitrures de titane de taille  
35 trop élevée.

Le titane a également pour fonction de limiter le grossissement du grain austénitique à haute température, et peut, pour cela, être ajouté indépendamment du bore.

5 Du niobium peut également être ajouté, à des teneurs comprises entre 0,005 et 0,06%. Lui aussi peut précipiter sous forme de carbonitrides dans l'austénite, et peut ainsi apporter un durcissement du matériau.

10 Enfin, de manière classique, on peut améliorer l'usinabilité du matériau par une addition de soufre (de 0,005% à 0,2%), à laquelle on peut aussi associer une addition de calcium (jusqu'à 0,007%), et/ou de tellure (jusqu'à 0,03%) et/ou de sélénium (jusqu'à 0,05%), et/ou de bismuth (jusqu'à 0,15%) et/ou de plomb (jusqu'à 0,15%).

15 Une fois obtenu le demi-produit ayant la composition précédemment citée, on procède au forgeage de l'ébauche de la pièce selon les procédés habituels. On la chauffe jusqu'à 1100 – 1300°C, puis on exécute les déformations donnant naissance à l'ébauche de pièce, que l'on ébavure et finit comme d'habitude.

20 Puis après le forgeage, on effectue un refroidissement contrôlé de la pièce, soit à l'air calme, soit à l'air pulsé. De manière générale, on impose à la pièce un refroidissement à une vitesse inférieure ou égale à 3°C/s entre 600 et 300°C.

Puis on procède à l'usinage de la pièce, comme habituellement, dans des conditions à moduler selon les caractéristiques de dureté obtenues.

25 Enfin, on procède à l'opération de renforcement mécanique de la pièce aux endroits appelés à être particulièrement sollicités en service. Dans le cas des vilebrequins de moteurs à explosion, cette opération peut consister en un galetage des congés des manetons et des paliers.

Pour obtenir des pièces de caractéristiques optimales pour leurs diverses applications, on peut envisager diverses formes de l'invention.

30 Selon une première forme de l'invention, on limite la teneur en carbone à 0,06-0,2%, de manière à obtenir une bainite bas carbone très écrouissable. Optimalement, la teneur en manganèse doit être comprise entre 0,5 et 1,5%, la teneur en chrome entre 0,5 et 1,5%.

35 Pour ces aciers, les caractéristiques de traction (limite d'élasticité, résistance) du produit obtenu ne sont pas particulièrement élevées : typiquement la résistance à la traction  $R_m$  est de l'ordre de 800-900 MPa et la limite d'élasticité  $R_e$  de l'ordre de 550 à 650 MPa. Mais ces aciers présentent une

bonne usinabilité, qui peut être améliorée par un ajout de cuivre à raison de 0,5 à 1,5%.

Selon d'autres formes de l'invention, on règle la teneur en carbone à une valeur plus élevée que dans la première forme, comprise entre 0,20 et 0,35%, de manière à obtenir sur le produit final une microstructure constituée de bainite à moyen carbone. Cette structure procure au produit des caractéristiques mécaniques élevées directement après le refroidissement contrôlé à l'air.

Si la teneur en carbone est comprise entre 0,25 et 0,35% et la teneur en silicium inférieure ou égale à 0,5%, on obtient une structure composée de bainite supérieure. Avec une teneur en manganèse de 0,8 à 2%, une teneur en chrome de 0,5 à 1%, une teneur en molybdène de 0,05 à 0,2% et des teneurs en bore et titane conformes à ce qui été précédemment conseillé, on obtient une pièce présentant une bonne écrouissabilité, une résistance à la traction de l'ordre de 900 à 1000 MPa, une limite d'élasticité comprise entre 600 et 700 MPa, et une usinabilité qui demeure satisfaisante notamment en présence de cuivre qui a pu commencer à précipiter lors du refroidissement suivant le forgeage.

Si la teneur en carbone est comprise entre 0,20 et 0,35%, la teneur en silicium comprise entre 0,5 et 2%, la teneur en manganèse comprise entre 0,8 et 2%, la teneur en chrome comprise entre 0,5 et 1%, la teneur en molybdène comprise entre 0,05 et 0,2%, on obtient une structure composée de bainite mixte (granulaire + supérieure). Cette structure donne à la pièce une bonne limite d'endurance et une bonne aptitude au renforcement mécanique par grenaillage, écrouissage, galetage, préconformage, etc. On pense que la présence d'austénite résiduelle relativement molle améliore l'écrouissabilité, donc la mise en précontrainte par le renforcement mécanique. Les enfoncements des gorges des congés de raccordement sont relativement faibles, ce qui diminue la concentration de contraintes et augmente la résistance à la fissuration. On obtient typiquement une résistance à la traction de l'ordre de 950 à 1250 MPa et une limite d'élasticité de l'ordre de 600 à 800 MPa qui sont réglées par la teneur en silicium. L'usinabilité reste acceptable et peut être améliorée par les additions précédemment décrites à cet effet. Un ajout de bore (jusqu'à 50 ppm) et/ou de titane (jusqu'à 0,04%) peut également être conseillé pour les raisons qui ont été dites.

Dans cette dernière forme de l'invention, on peut, de plus, pratiquer un léger revenu à 300 – 500°C pendant 1 à 3h. On transforme ainsi l'austénite résiduelle en ferrite et carbures, ce qui permet une légère augmentation de la limite d'élasticité sans baisse de la résistance à la traction. On améliore de ce fait



la tenue en fatigue d'environ 10%. Ce revenu peut être effectué après l'usinage ou après le refroidissement et avant l'usinage.

On va à présent décrire deux exemples d'applications de l'invention et un exemple comparatif.

5 Les essais mécaniques qui vont être décrits ont été réalisés (comme il est classique lorsqu'on veut tester des matériaux pour vilebrequins) sur des éprouvettes dont la géométrie permet de reproduire les sollicitations des raccords d'un maneton de vilebrequin qui travaille en flexion, et qui ont subi un cycle thermique identique à celui induit par le forgeage d'un vilebrequin. Elles  
10 ont aussi subi un galetage dans des conditions analogues à celles d'un galetage classiquement effectué sur les congés de raccordement des manetons d'un vilebrequin.

A titre de référence, on a procédé à des essais sur des éprouvettes en un acier de type 38MnSiV5 à structure ferrito-perlitique, de composition C =  
15 0,38% ; Mn = 1,4% ; Si = 0,5% ; S = 0,075% ; Ni = 0,1% ; Cr = 0,2% ; Mo = 0,03% ; Cu : 0,02% ; V = 0,09% ; N = 130 ppm. Ces éprouvettes sont découpées dans un acier qui a subi un laminage suivi d'un refroidissement à l'air calme (0,5 à 1°C/s) qui lui ont procuré une résistance à la traction de 860 MPa et une limite d'élasticité de 570 MPa.

20 Le galetage a été effectué avec des galets inclinés de 35° par rapport à la verticale, sur des gorges de 1,35mm de rayon, avec une gorge de déplacement (« undercut ») d'environ 0,6mm. Les charges appliquées lors du galetage ont varié de 800 à 1200 daN.

Dans ces conditions, on a obtenu des moments de 2090 à 1850 N.m  
25 pour l'amorçage des fissures, et des moments de rupture de 4050 à 4620 N.m (remarquons que lorsque la charge appliquée augmente, le moment nécessaire pour l'amorçage des fissures diminue mais le moment de rupture augmente).

On a exécuté les mêmes essais sur des éprouvettes d'un acier à structure bainitique correspondant à l'invention, de composition C = 0,24% ; Mn  
30 = 1,50% ; Si = 0,7% ; S = 0,077% ; Ni = 0,1% ; Cr = 0,8% ; Mo = 0,07% ; Cu = 0,1% ; V = 0,19% ; B = 30ppm ; Ti = 0,019% ; N = 70 ppm. Cet acier a donc une composition correspondant à la forme de l'invention précédemment décrite à teneur en carbone élevée, dans sa version à silicium élevé où une structure de bainite mixte est obtenue après un forgeage et un refroidissement à l'air calme  
35 (0,5 à 1°C/s). Aucun revenu postérieur n'a été effectué. Dans ces conditions, on obtient une résistance à la traction de 1000MPa et une limite d'élasticité de 640MPa, ce qui est significativement meilleur que pour l'acier de référence.



On a effectué un galetage de l'éprouvette dans les mêmes conditions que pour l'éprouvette de référence, toujours avec des charges appliquées de 800 à 1200 daN.

5 Dans ces conditions on a obtenu des moments d'amorçage des fissures de 2650 à 2400 N.m, et des moments de rupture de 5200 à 5900 N.m. On obtient une amélioration très significative de ces deux limites, de l'ordre de 30%, grâce à l'invention.

10 Les inventeurs expliquent ce résultat par une meilleure aptitude de l'éprouvette élaborée selon l'invention à une faible relaxation des contraintes pour une charge donnée. Cela procure un plus important blocage des fissures déjà amorcées. La limite d'amorçage des fissures est améliorée du fait d'un moindre enfoncement des gorges par les galets : la concentration des contraintes est plus faible et la résistance à la traction est plus élevée.

15 Les inventeurs ont également remarqué, par des essais de diffraction des rayons X, que les aciers ferrito-perlitiques habituels subissent un adoucissement plus important que les aciers de l'invention, qui ont même, au contraire, tendance à se renforcer au cours de leur utilisation.

20 L'intérêt principal de l'invention est que pour des charges de galetage plus faibles, on obtient les mêmes résultats en termes de propriétés mécaniques qu'avec des nuances ferrito-perlitiques classiques. On peut ainsi économiser les galets, ce qui abaisse le prix de revient de l'opération de galetage. Cela permet de compenser le surcoût dû à la plus forte présence d'éléments d'alliage dans l'acier.

25 On a également effectué des essais sur des éprouvettes d'un acier à structure bainitique correspondant à l'invention, de composition C = 0,06% ; Mn = 1,35% ; Cr = 0,9% ; Si = 0,39% ; Ni = 0,25% ; S = 0,003% ; Cu = 0,22% ; V = traces ; N = 0,007% ; Mo = 0,09% et B = 0,003%. Cet acier a une composition correspondant à la première forme de l'invention. Le refroidissement à l'air pulsé effectué a approché la vitesse de 2 à 3°C/s entre 600 et 300°C. Dans ces  
30 conditions on obtient une résistance à la traction de 820MPa et une limite d'élasticité de 550MPa, ce qui est comparable à l'acier de référence. On a effectué un galetage de l'éprouvette dans les mêmes conditions que pour l'éprouvette de référence, toujours avec des charges appliquée de 800 à 1200daN. Dans ces conditions on a obtenu des moments d'amorçage des  
35 fissures de 2300 à 2500Nm et des moments de rupture de 5600 à 6120Nm. Là encore on obtient une amélioration très significative de ces deux limites, de l'ordre de 20 et 35% respectivement, grâce à l'invention.

On rappelle enfin que les nuances d'acier utilisées dans l'invention peuvent subir aussi bien un refroidissement à l'air calme qu'un refroidissement à l'air pulsé, ce qui rend leur traitement possible sur toute installation de forgeage existante.

**REVENDECATIONS**

1. Procédé de fabrication d'une pièce forgée en acier, caractérisé en ce que :

- on élabore et on coule un acier de composition, en pourcentages pondéraux,  $0,06\% \leq C \leq 0,35\%$  ;  $0,5\% \leq Mn \leq 2\%$  ; traces  $\leq Si \leq 2\%$  ; traces  $\leq Ni \leq 1,5\%$  ; traces  $\leq Al \leq 0,1\%$  ; traces  $\leq Cr \leq 1,5\%$  ; traces  $\leq Mo \leq 0,30\%$  ; traces  $\leq V \leq 0,5\%$  ; traces  $\leq Cu \leq 1,5\%$  ; le reste étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration ;
- on forge une ébauche de la pièce à une température de 1100 à 1300°C ;
- on effectue un refroidissement contrôlé de l'ébauche de la pièce à l'air calme ou à l'air pulsé ;
- on effectue l'usinage de la pièce ;
- et on effectue une opération de renforcement mécanique de la pièce à des endroits appelés à être particulièrement sollicités.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'acier contient de 5 à 50 ppm de B.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que l'acier contient de 0,005 à 0,04% de Ti.

4. Procédé selon les revendications 2 et 3 prises ensemble, caractérisé en ce que la teneur en Ti est égale à au moins 3,5 fois la teneur en N de l'acier.

5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que l'acier contient de 0,005 à 0,06% de Nb.

6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que l'acier contient de 0,005 à 0,2% de S.

7. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que l'acier contient au moins un des éléments Ca jusqu'à 0,007%, Te jusqu'à 0,03%, Se jusqu'à 0,05%, Bi jusqu'à 0,15% et Pb jusqu'à 0,15%.

8. Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que la teneur en C de l'acier est comprise entre 0,06 et 0,20%.

9. Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce que la teneur en Mn de l'acier est comprise entre 0,5 et 1,5%, et en ce que la teneur en Cr est comprise entre 0,5 et 1,5%.

5 10. Procédé selon l'une des revendications 8 ou 9, caractérisé en ce que la teneur en Cu de l'acier est comprise entre 0,5 et 1,5%.

11. Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que la teneur en C de l'acier est comprise entre 0,25 et 0,35%, la teneur en Si est comprise entre des traces et 0,5%, la teneur en Mn est comprise entre 0,8 et 2%, la teneur en Cr est comprise entre 0,5 et 1,5%, la teneur en Mo est comprise  
10 entre 0,05 et 0,20%, la teneur en B est comprise entre 5 et 50 ppm, et la teneur en Ti est comprise entre 0,005 et 0,04%.

12. Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que la teneur en C de l'acier est comprise entre 0,20 et 0,35%, la teneur en Si est comprise entre 0,5 et 2%, la teneur en Mn est comprise entre 0,8 et 2%, la teneur  
15 en chrome est comprise entre 0,5 et 1,5%, la teneur en molybdène est comprise entre 0,05 et 0,20%, la teneur en bore est comprise entre des traces et 50 ppm et la teneur en Ti est comprise entre 0,005 et 0,04%.

13. Procédé selon la revendication 12, caractérisé en ce que l'on pratique un revenu à 300 – 500°C pendant 1 à 3h après l'usinage ou après le  
20 refroidissement contrôlé à l'air et avant l'usinage.

14. Procédé selon l'une des revendications 1 à 13, caractérisé en ce que l'opération de renforcement mécanique est un galetage.

15. Pièce forgée en acier, caractérisée en ce qu'elle a été obtenue par le procédé selon l'une des revendications 1 à 14.

25 16. Pièce forgée en acier selon la revendication 15, caractérisée en ce qu'elle est constituée par un vilebrequin pour moteur à explosion.

17. Pièce forgée en acier selon la revendication 16, caractérisée en ce que l'opération de renforcement mécanique a été réalisée sur les congés de raccordement des manetons et les paliers du vilebrequin.



## BREVET D'INVENTION

## CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg

75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04 Télécopie : 33 (1) 42 94 86 54

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1/1.

(À fournir dans le cas où les demandeurs et les inventeurs ne sont pas les mêmes personnes)



Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W / 370501

Vos références pour ce dossier (facultatif)		BFF 01/0451	
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL		0215228	
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)			
Procédé de fabrication d'une pièce forgée en acier et pièce ainsi obtenue.			
LE(S) DEMANDEUR(S) :			
ASCOMETAL			
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) :			
1 Nom		MICHAUD	
Prénoms		Hervé	
Adresse	Rue	3, rue George Robinson	
	Code postal et ville	57000 METZ FRANCE	
Société d'appartenance (facultatif)			
2 Nom		DIERICKX	
Prénoms		Pierre	
Adresse	Rue	82 rue de Meilbourg Garche	
	Code postal et ville	57100 THIONVILLE FRANCE	
Société d'appartenance (facultatif)			
3 Nom		ANDRE	
Prénoms		Gaëlle	
Adresse	Rue	197 rue de Pont à Mousson	
	Code postal et ville	57950 MONTIGNY LES METZ FRANCE	
Société d'appartenance (facultatif)			
S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez plusieurs formulaires. Indiquez en haut à droite le N° de la page suivi du nombre de pages.			
DATE ET SIGNATURE(S) DU (DES) DEMANDEUR(S) OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)		Paris, le 3 décembre 2002	
		C. JACOBSON n° 92.1119	